

MAADOITUSJÄRJESTELMÄN NYKYTILAN KUVAUS JA KEHITTÄMINEN

Napapiirin Energia ja Vesi Oy
Rovaniemen Verkko Oy

Mäkinen Mikko

Opinnäytetyö
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2020

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Mikko Mäkinen	Vuosi	2020
Ohjaaja	DI Jaakko Etto		
Toimeksiantaja	Napapiirin Energia ja Vesi Oy, Rovaniemen Verkko Oy Kehityspäällikkö Jouni Karasti		
Työn nimi	Maadoitusjärjestelmän nykytilan kuvaus ja kehittäminen		
Sivu- ja liitesivumäärä	32 + 8		

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää uudistuneet standardit ja säännökset koskien maadoitusjärjestelmää ja tehdä Napapiirin Energia ja Vesi Oy:lle selkeät, sekä nykysäännösten mukaiset ohjeistukset maadoituksille. Opinnäytetyö painottui pääosin sähkönjakeluverkon maadoituksiin, mutta teoriaosuuden alkupuolella käsitellään myös maadoittamista yleisesti.

Työ toteutettiin perehtymällä aiheeseen liittyviin asetuksiin, lainsäädäntöön, ohjeistuksiin ja tutkimalla voimassaolevia standardeja. Opinnäytetyössä esiteltiin myös erilaisia maadoitusjärjestelmiä, niiden rakenteita, säännöksiä sekä vaatimuksia. Aineistoa oli paljon ja osassa tiedonlähteissä erityisesti tieto standardeista osoittautui vanhentuneeksi, minkä vuoksi luettu asia oli tarkistettava useasta eri lähteestä oikeaksi. Ohjeistukset tehtiin toimeksiantajalle selkeäksi keräämällä ainoastaan oleellinen tieto, jota rakennus- ja kunnossapitotöissä tarvitaan.

Vuonna 2018 SFS 6001 -standardi muuttui, joten ohjeistusten luominen oli hyvin ajankohtainen asia työn toimeksiantajalle. Valmiit ohjeistukset, joita ei aikaisemmin kyseiselle sähkönjakeluverkkoyhtiölle ollut tehty, helpottavat rakentamis- ja kunnossapitotöissä Neveä jatkossa. Ohjeistukset jäävät luottamuksellisiksi liitteiksi työn toimeksiantajalle. Tavoitteet saavutettiin, sillä Napapiirin Energia ja Vesi Oy sai selkeitä työohjeita ja selvityksiä maadoittamiseen liittyen.

Avainsanat maadoitus, laaja maadoitus, erillismaadoitus,
maadoituselektrodi

Electrical Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Mikko Mäkinen	Year	2020
Supervisor	Jaakko Etto, M.Sc (Tech.)		
Commissioned by	Rovaniemen Verkkö Oy Jouni Karasti, Development Manager		
Subject of thesis	Survey and Development of the Earthing System		
Number of pages	32 + 8		

The purpose of this Bachelor thesis was to research on earthing considering the new standards and regulations for Napapiirin Energia ja Vesi Oy. The objectives were also to produce easy and clear instructions on earthing for the company use. The thesis focused mainly on electricity distribution network earthing.

The survey was done by studying the laws, regulations and standards of electricity. In the thesis different earthing systems and their structures are presented. There was a lot of material available and some information was old and not valid anymore. The instructions for the company were made clear by collecting only the main information that is essential for construction and maintenance work.

The SFS 6001 standards were renewed in 2018 so the survey and instructions were really important for the company. The instructions help the company's construction and development in the future. The instructions and some parts of the survey will be confidential and for the company use only. The main goals were reached and the company gained what was planned.

Key words earthing, global earthing, separate earthing, earth electrode

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA	8
2.1 Napapiirin Energia ja Vesi Oy	8
2.2 Rovaniemen Verkko Oy	8
3 MAADOITTAMINEN	9
3.1 Maadoittamista koskevat määritelmät	9
3.2 Maadoittamisen tarkoitus	11
3.3 Maadoitusten dokumentointi ja merkinnät	13
4 MAADOITUSJÄRJESTELMÄT	14
4.1 Laaja maadoitusjärjestelmä	14
4.2 Erilliset maadoitukset	15
4.3 Muuntamoiden maadoitusjärjestelmät	16
4.4 Sähköasemien maadoitusjärjestelmät	19
5 MAADOITUSTEN MITTAUKSET JA DOKUMENTOINTI	22
5.1 Mittausmenetelmät	22
5.1.1 Käännepestemenetelmä	22
5.1.2 Voltti-ampeerimenetelmä	23
5.2 Vastaanottotarkastukset ja dokumentointi	24
5.3 Tarkastukset, testaukset ja mittaukset	24
6 OHJEISTUKSET JA SELVITYKSET TOIMEKSIANTAJALLE	29
6.1 Ohjeistus muuntamomaadoituksille rakentamisen yhteydessä	29
6.2 Ohjeistus maadoituksista sähkönjakeluverkkoon liittyjälle	29
6.3 Maadoitukset työmaakeskusten, tilapäisten keskusten ja tonttikeskusten yhteydessä	29
6.4 Jakokaappien maadoittaminen ja maadoitusvaatimukset	29
7 POHDINTA	30
LÄHTEET	31
LIITTEET	32

ALKUSANAT

Haluan kiittää Napapiirin Energia ja Vesi Oy:n kehityspäällikkö Jouni Karastia, käyttöpalvelupäällikkö Jyri Tiuraniemeä, rakennuttamispäällikkö Matias Heikkilää ja muuta Neve:n henkilökuntaa, jotka mahdollistivat opinnäytetyön tekemisen. Isot kiitokset myöskin Jaakko Etolle opinnäytetyön ohjauksesta.

Rovaniemellä 20.12.2019

Mikko Mäkinen

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Neve	Napapiirin Energia ja Vesi Oy
Cu	Kupari
PMK	Päämaadoituskisko
MET	Main Earthing Terminal

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Rovaniemen Verkko Oy:n maadoitusjärjestelmän nykytilan kuvausta ja sen kehittämistä. Työssä perehdytään maadoittamiseen voimassa olevien säännösten, standardien ja ohjeistuksien perusteella. Opinnäytetyön alkupuolella käsitellään maadoittamista yleisesti, vaikka työ painottuu pääosin sähköjakeluverkon maadoituksiin.

Työssä selvitetään nykyisen jakeluverkon maadoitusten tilanne ja voimassa olevien vaatimusten täyttyminen. Opinnäytetyössä käsitellään myös päivitettyjen standardien kautta uusien kohteiden rakentamista, sekä jo olemassa olevien asennusten kunnossapitoa. Näistä tehtiin työohjeita ja selvityksiä toimeksiantajalle maadoittamiseen liittyen.

Työssä esitetään erilaisia maadoitusjärjestelmiä, niiden rakenteita, vaatimuksia ja säännöksiä. Opinnäytetyössä käsitellään myös maadoitusmittauksia ja mittaustapoja, sekä ohjeistuksia tarkastuksien ja dokumentointien osilta.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJA

2.1 Napapiirin Energia ja Vesi Oy

Napapiirin Energia ja Vesi Oy (Neve) on Lapissa toimiva monialakonserni. Se palvelee yli 60 000 asiakasta paikallisesti, sekä myös suurta määrää Lapin matkailijoista. (Napapiirin Energia ja Vesi Oy 2019.)

Neven palveluihin kuuluvat kaukolämmön tuotanto ja palvelut sekä myynti, infran palvelut, vesihuolto, sähkönsiirto, valokuituverkon rakentaminen ja palvelut, sähköisen liikenteen palvelut, digitaaliset palvelut sekä myös kiertotalouden tuotteet. Neve Oy toimii emoyhtiönä konsernissa, johon kuuluvat tytäryhtiöt Napapiirin Vesi Oy, Napapiirin Infra Oy, Rovaniemen Verkko Oy, Napapiirin Kuituverkko Oy, Kolarin Lämpö Oy, Savukosken Lämpö Oy ja Ranuan Bioenergia Oy. Neve on Rovaniemen kaupungin omistama yhtiö. (Napapiirin Energia ja Vesi Oy 2019.)

Neve-konsernin liikevaihto oli vuonna 2018 noin 84 miljoonaa euroa, josta voittoa 17,2 miljoonaa euroa. Se työllistää henkilöstöllään noin 170 ihmistä. Merkittävin osa tuotannosta liittyy sähkön ja lämmön yhteistuotantoon sekä niiden jakeluun, käyttöveden jakeluun ja jäte- sekä hulevesien käsittelyyn. Yhtiön Rovaniemen energialiiketoiminta on toiminut varsin pitkään; sähkönjakelutoiminta aloitettiin 1914 ja kaukolämpötoiminta jo 1970-luvulla. (Napapiirin Energia ja Vesi Oy 2019.)

2.2 Rovaniemen Verkko Oy

Rovaniemen Verkko Oy on vuonna 2006 perustettu yhtiö ja Neve Oy:n tytäryhtiö. Se vastaa Rovaniemen kantakaupungin alueella sähkön jakelusta ja siirrosta yli 25 000 asiakkaalleen. Yhtiö toimii puhtaasti verkkoyhtiönä sähkömarkkinalain mukaisesti. Emoyhtiö Neve Oy omistaa täysin Rovaniemen Verkko Oy:n. (Napapiirin Energia ja Vesi Oy 2019.)

3 MAADOITTAMINEN

3.1 Maadoittamista koskevat määritelmät

Sähkönsiirron kantaverkko toteutetaan suurjännitteellä (> 36 kV). Sähkön reitillä kantaverkosta kuluttajaa kohti mentäessä, seuraavaksi kantaverkon suurjännite muunnetaan keskijännitteeksi ($1 - 36$ kV) sähköasemilla. Tällä jännitetasolla edetään yleensä jakeluverkossa paikallisille jakelumuuntamoille, esimerkiksi puistomuuntamoille asti, joissa jännite muutetaan käyttäjälle sopivampaan muotoon, eli pienjännitteeksi (≤ 1 kV). Pienjännitteenä sähkö toimitetaan käyttäjille esimerkiksi jakokeskusten kautta. Maadoitus on välttämätön kaikilla edellä mainituilla jännitetasoilla. Myös käyttäjä tai asiakas tarvitsee oman maadoituksen esimerkiksi omakotitalonsa liittymälle. Maadoitus on siis välttämätön toiminnan ja turvallisuuden vuoksi sähkön siirrossa ja jakelussa, aina kantaverkosta käyttäjälle asti.

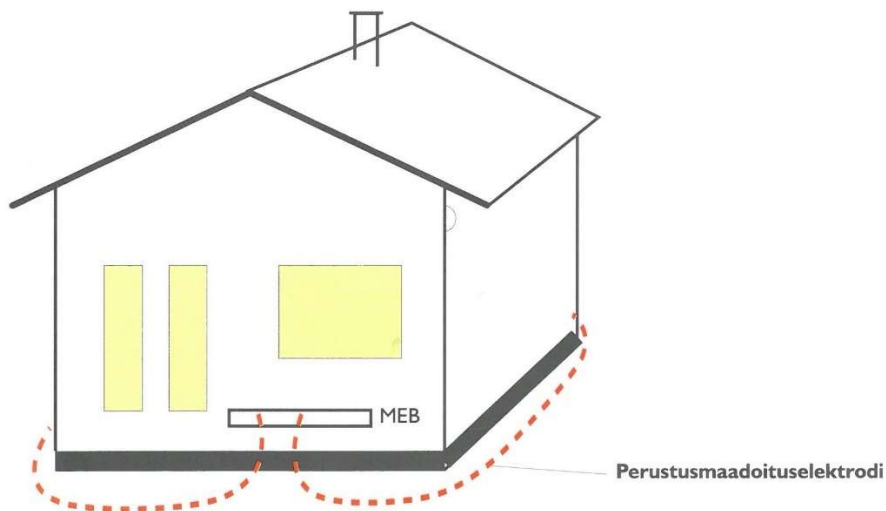
SFS 6001 standardi määrittelee maadoituksen ja siihen liittyvät määritelmät seuraavasti:

- **"Maadoitusjärjestelmä** on kaikkien liitännöiden ja laitteiden järjestelmä, joka on välttämätön laitteiden tai järjestelmän maadoittamiseksi yhteydessä tai erikseen."
- **"Maadoituselektrodi** on maahan sähköisessä yhteydessä oleva johtava osa, joka voi olla upotettu johtavaan väliaineeseen, esimerkiksi betoniin tai kooksiin."
- **"Maadoitusjohdin** tarkoittaa johdinta, joka muodostaa asennuksen, järjestelmän tai laitteen määrätyn osan ja maan välille johtavan yhteyden tai osan tästä yhteydestä."
- **"(Paikallinen) maa** on maadoituselektrodiin yhteydessä oleva maan johtava osa, jonka potentiaali ei välttämättä ole nolla."

- **"Referenssimaa (neutraalimaa) (kaukana oleva maa)** tarkoittaa maan osaa, jonka sähköiseksi potentiaaliksi missä tahansa kohdassa on sovittu nolla, ja joka on kaikkien tarkasteltavien maadoitusjärjestelmien vaikutusalueen ulkopuolella."
- **"Maadoitusimpedanssi** on järjestelmän tai asennuksen määrätyn kohdan ja neutraalimaan välinen impedanssi annetulla taajuudella."
- **"Maadoitusresistanssi** on maadoitusimpedanssin reaaliosa."
- **"Laaja maadoitusjärjestelmä** tarkoittaa yhtenäistä maadoitusjärjestelmää, joka on toteutettu kytkemällä yhteen paikalliset maadoitusjärjestelmät. Yhteen kytkettyjen maadoitusjärjestelmien läheisyys varmistaa sen, ettei vaarallisia kosketusjännitteitä esiinny."
- **"Yhteen liitetty maadoitusjärjestelmä** on yhtenäinen maadoitusjärjestelmä, jossa paikalliset maadoitusjärjestelmät on kytketty yhteen, mutta kaikki laajan maadoitusjärjestelmän ehdot eivät täyty."
- **"Perustusmaadoituselektrodi** on betoniin upotettu johtava rakenne, joka on laajan pinnan välityksellä johtavassa yhteydessä maahan."
- **"Maadoitussauva** on maahan upotettu metallisauva, joka toimii maadoituselektrodina." (SFS 6001 2018, 17-20.)

3.2 Maadoittamisen tarkoitus

Maadoittamisen perustarkoitus on yhdistää laite tai virtapiirin jokin osa maahan metallisen kappaleen (maadoituselektrodin) avulla mahdollisimman tehokkaasti. Kuviossa 1 on havainnollistettu rakennuksen maadoituselektrodiä. Maadoituksen tehokkuuden mittana käytetään yleensä elektrodin maadoitusresistanssia. (Elovaara & Haarla 2011, 427.)



Kuvio 1. Rakennuksen perustusmaadoituselektrodi (Tiainen, Nurmi & Koivisto 2014, 15)

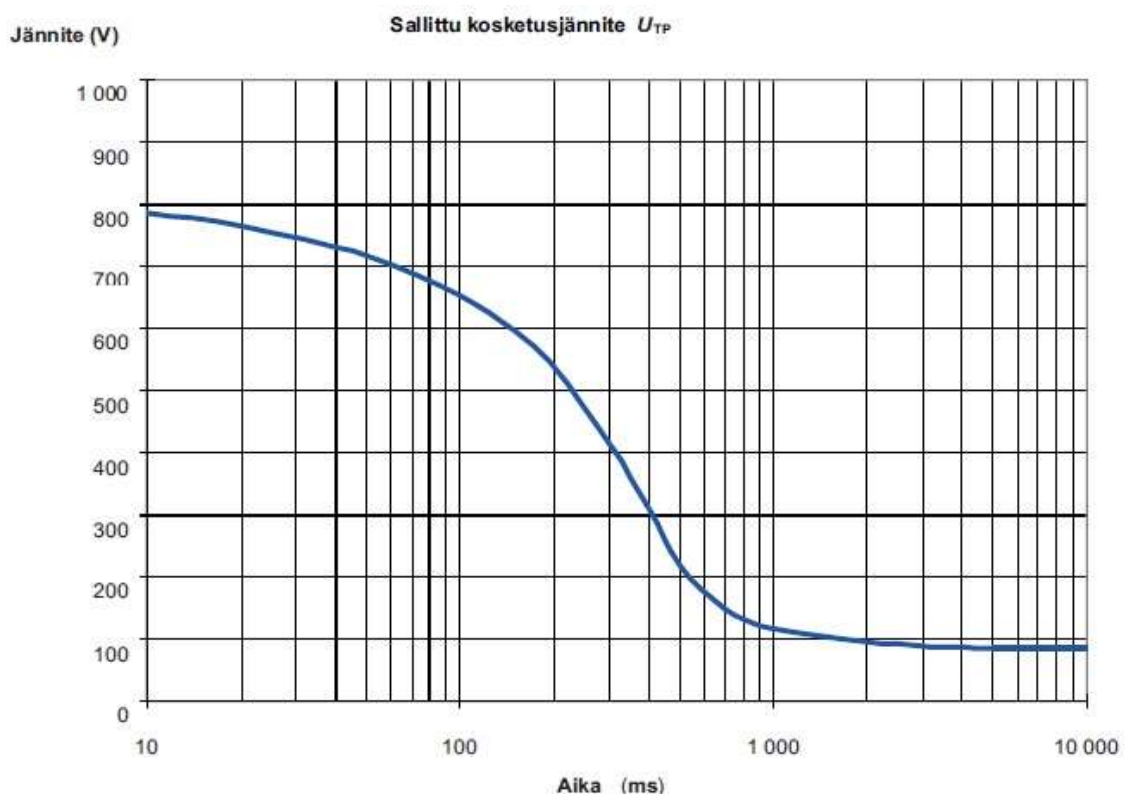
Maadoituselektrodit, jotka ovat suoraan maan kanssa kosketuksissa, on valittava siten että ne kestävät mahdollisen korroosion (biologinen tai kemiallinen syöpyminen, hapettuminen, elektrolyyttiparin muodostuminen, elektrolyysi jne.). Niiden täytyy kestää myös mekaanisia rasituksia asentamisen ja normaalin käytön aikana. Mekaanisten lujuuksien ja korroosionkestävyyden vuoksi vähimmäispoikkipinnat ovat:

- Kupari 25 mm²
- Alumiini 35 mm²
- Teräs 50 mm². (SFS 6001 2018, 88, 108.)

Poikkeuksena 25 mm² kuparin sijaan voidaan käyttää 16 mm² kuparia erityisolosuhteissa, joissa kokemuksen mukaan korroosion ja mekaanisen vaurioitumisen riski on vähäinen. (SFS 6001 2018, 88,108.)

Maadoitukset voidaan jakaa kahteen osaan: suoja- ja käyttömaadoituksiin.

Suojamaadoituksissa maadoituksen tehtävä on estää vaarallisten kosketusjännitteiden syntyminen kosketeltavaan, eristykseltään vialliseen tai jostakin muusta syystä jännitteiseksi muuttuvaan osaan tai kohtaan. Tämä tapahtuu yhdistämällä maadoitukseen virtapiiriin kuulumaton jännitteelle altis osa, esimerkiksi laitteen runko. Kansainvälisissä standardeissa ja määräyksissä on annettu enimmäisarvot sallituille kosketusjännitteille, jotka käyvät ilmi kuviosta 2. (Elovaara & Haarala 2011, 427.)



Kuvio 2. Sallittu kosketusjännite (SFS 6001 2018, 93)

Käyttömaadoittamisessa taas virtapiiriin tietty osa yhdistyy maahan joko suoraan tai pienen impedanssin kautta. Käyttömaadoituksella saadaan pidettyä virtajohtimien jännite maan suhteen sellaisena, ettei se aiheuta vaaraa tai vaurioita. Käyttömaadoituksella myös pidetään jännite-epäsymmetriat ja maavirrat pieninä, näin saadaan minimoitua häiriöt heikkovirtalaitoksille (esimerkiksi puhelinjohdot). (Elovaara & Haarala 2011, 427.)

Maadoituksiin kuuluu vielä lisäksi myös työmaadoittaminen, joka on nimensä mukaan väliaikaista, työskentelyn ajan kestävää maadoittamista. Tämä on työturvallisuuden sekä yleisen turvallisuuden kannalta tärkeä toimenpide. (Elovaara & Haarla 2011, 427.)

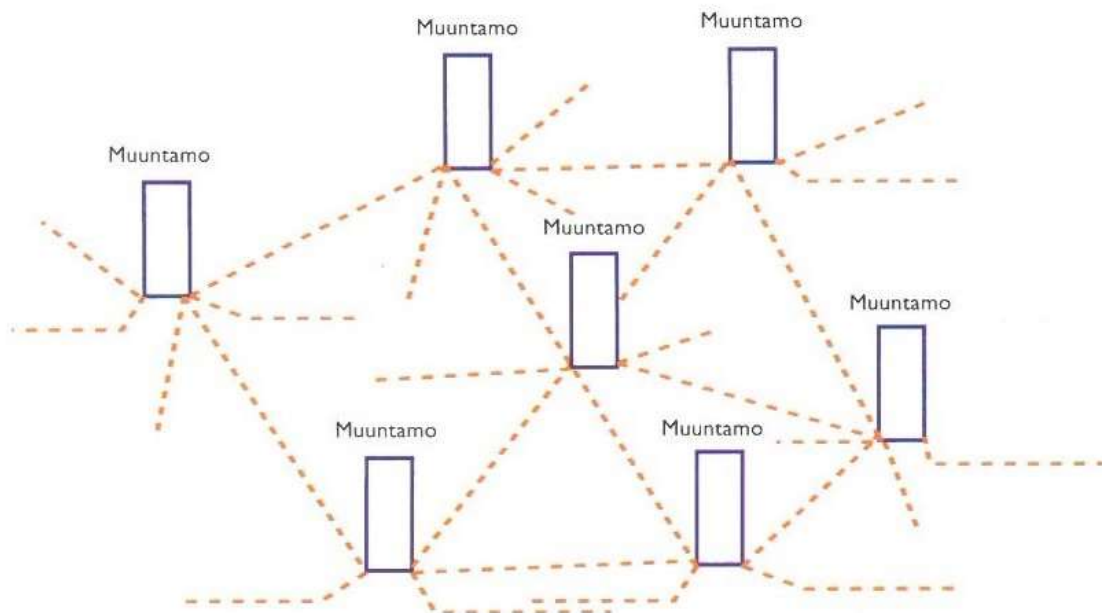
3.3 Maadoitusten dokumentointi ja merkinnät

Maadoituksien dokumentointiin ja merkintöihin ei ole olemassa yksityiskohtaisia standardeja, vaan niiden kohdalla noudatetaan yleisiä vaatimuksia. Maadoitusten kytkennöistä tulisi aina tehdä kaavio. Hyvin yksinkertaisista kohteista tämä ei ole välttämätöntä. Kaavioissa tulisi olla selvästi esitettynä mahdolliset päämaadoituskiskot, potentiaalintasausjohtimet, maadoitusjohtimet ja muut tarpeelliset suojajohtimet poikkipintoineen. Kaavioissa esiintyvät tunnuksot tulee kiinnittää myös johtimiin ja kiskoihin tai niiden välittömään läheisyyteen. Myöskään maadoituksien tunnuksia ei ole yksityiskohtaisesti määritelty. Esimerkiksi päämaadoituskisko (PMK) voi olla nimetty englanninkielisessä yhteydessä Main Earthing Terminal (MET). Jos kyseessä on vanhan asennuksen laajennus tai korjaus, kannattaisi pysyä selkeyden vuoksi vanhan asennuksen kaltaisissa merkinnöissä. Kaikkien suojaustarkoitukseen käytettävien johtimien täytyy olla tunnusväriltään kelta-vihreitä. Myös paljaita johtimia voidaan käyttää, mutta tällöin pitää mahdollinen korroosion syntyminen ottaa huomioon. Kelta-vihreää väritystä ei saa käyttää johtimille, joita käytetään vain toiminnalliseen maadoitukseen ja jotka eivät ne täytä suojajohtimien vaatimuksia. (ST 53.21 2018, 7.)

4 MAADOITUSJÄRJESTELMÄT

4.1 Laaja maadoitusjärjestelmä

Laajalla maadoitusjärjestelmällä tarkoitetaan yhtenäistä ”maadoitusverkkoa”. Tämä toteutetaan kytkemällä yhteen paikalliset maadoitusjärjestelmät kuten kuvio 3 havainnollistaa. Näiden yhteen kytkettyjen maadoitusjärjestelmien etuna on läheisyys toisiinsa, ja näin varmistetaan, ettei vaarallisia kosketusjännitteitä synny. (SFS 6001 2018, 20.)



Kuvio 3. Periaatekuva laajasta maadoitusjärjestelmästä. (Ylinen 2016, 64)

Suomessa tyypillisiä alueita, joihin laajat maadoitusjärjestelmät syntyvät, ovat tiheään asutut kaupunkien keskustat, laajat teollisuusalueet ja vastaavat alueet, joissa jakeluverkko muodostaa galvaanisesti yhtenäisen maadoitusjärjestelmän. Tyypillisesti laaja maadoitusjärjestelmä on silmukoituva ja verkkomainen, sekä muuntamoiden väliset matkat ovat suhteellisen pieniä. Kunkin laajaan maadoitukseen kuuluvan muuntopiirin on yhdistyttävä vähintään kahden muun muuntopiirin maadoituksiin. Yhdistyksiä muihin muuntopiireihin on oltava riittävin välein enemmän kuin kaksi. Laajassa maadoitusjärjestelmässä yksittäisen maadoituksen mittaaminen on yleensä todella vaikeaa, eikä se anna luotettavaa tulosta. (SFS 6001 2018, 149.)

Yhdistäminen voidaan toteuttaa kaapelin keskusköydellä, erillisellä johtimella, PEN- tai PE-johtimella, riittävän suuren poikkipinnalla varustetun kaapelin kosketussuojalla tai vastaavalla tavalla. Kun suurjännitesähköasema liittyy usealla yhteydellä keskijänniteverkon laajaan maadoitusjärjestelmään, katsotaan sen kuuluvan myös laajaan maadoitusjärjestelmään. Laajasta maadoitusjärjestelmästä täytyy olla aina käytettävissä dokumentaatio, joissa on todettavissa perusteet laajan maadoituksen käytöstä, mukaan lukien järjestelmään liittyvät sähköasemat, jakelumuuntamot ja niiden väliset maadoitusten yhdistämiset. (SFS 6001 2018, 149.)

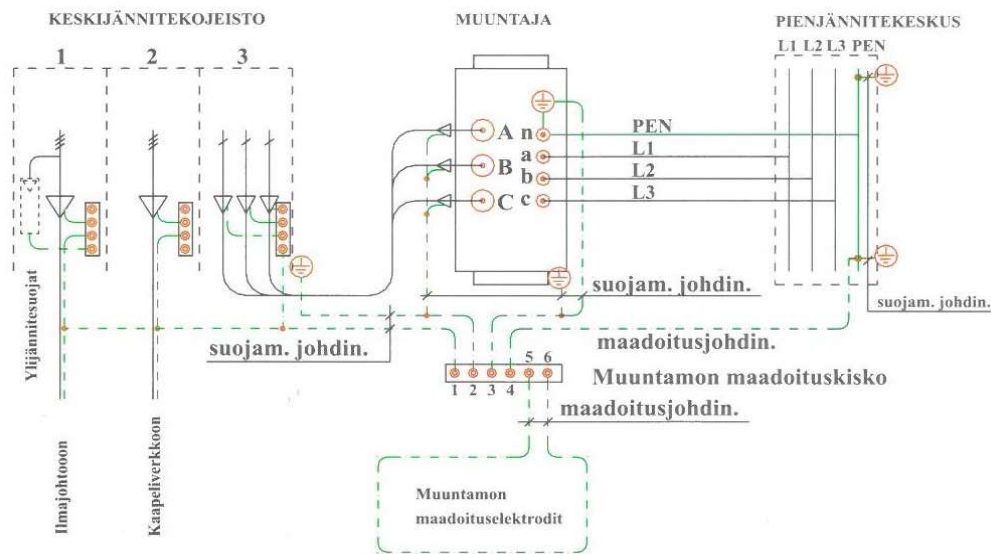
4.2 Erilliset maadoitukset

Tapauksissa, joissa suurjännitemaadoitukset ja pienjännitemaadoitukset ovat lähellä toisiaan ja ne eivät muodosta keskenään laajaa maadoitusjärjestelmää, on vaarana, että suurjännitejärjestelmän maadoitusjännitettä voi esiintyä pienjännitejärjestelmässä. Tämän välttämiseksi voidaan joko yhdistää kaikki suurjännitemaadoitukset ja pienjännitemaadoitukset, tai erottaa suurjännitemaadoitukset pienjännitemaadoituksista. Näistä maadoitusten yhdistäminen on suositeltava tapa, mikäli se vain on mahdollista. Kuitenkin molemmissa vaihtoehdoissa täytyy kosketusjännitteitä, askeljännitteitä ja siirtyviä jännitteitä koskevien vaatimusten täytyä sekä sähköasemalla tai muuntamolla ja sen syöttämässä pienjännitejärjestelmässä, eivätkä ne saa aiheuttaa vahinkoa ihmiselle tai laitteistolle. (SFS 6001 2018, 95.)

Jos pienjännitejärjestelmä sijoittuu täysin suurjännitemaadoituksen olemassa olevalle alueelle, esimerkiksi sähköaseman sisäpuolelle, on maadoitusjärjestelmät kytkettävä yhteen, vaikkei laaja maadoitusjärjestelmä olisikaan kyseessä. Erityisesti on huomioitava pienjänniteasennukset, jotka ovat suurjännitesähköaseman läheisyydessä ja sen maadoitusjärjestelmän vaikutuspiirissä. Kaupallisten kohteiden ja teollisuuden asennuksissa, laitteiden läheisyydestä johtuen, maadoituksia ei ole mahdollista erottaa toisistaan. Tällöin asennuksissa voidaan käyttää yhteistä maadoitusjärjestelmää. (SFS 6001 2018, 95.)

4.3 Muuntamoiden maadoitusjärjestelmät

Suunniteltaessa ja rakennettaessa jakelumuuntamoita käytetään aina kun mahdollista yhteistä maadoitusjärjestelmää suurjännitteelle ja pienjännitteelle. Muuntopiirille rakennetaan maadoitusjärjestelmäksi aina maadoituselektrodi, jonka koko ja muoto riippuu maaperästä ja muuntamon rakenteesta. Elektrodin muodossa on huomiotava ylijännitesuojaus. (Tiainen ym. 2014, 62.)



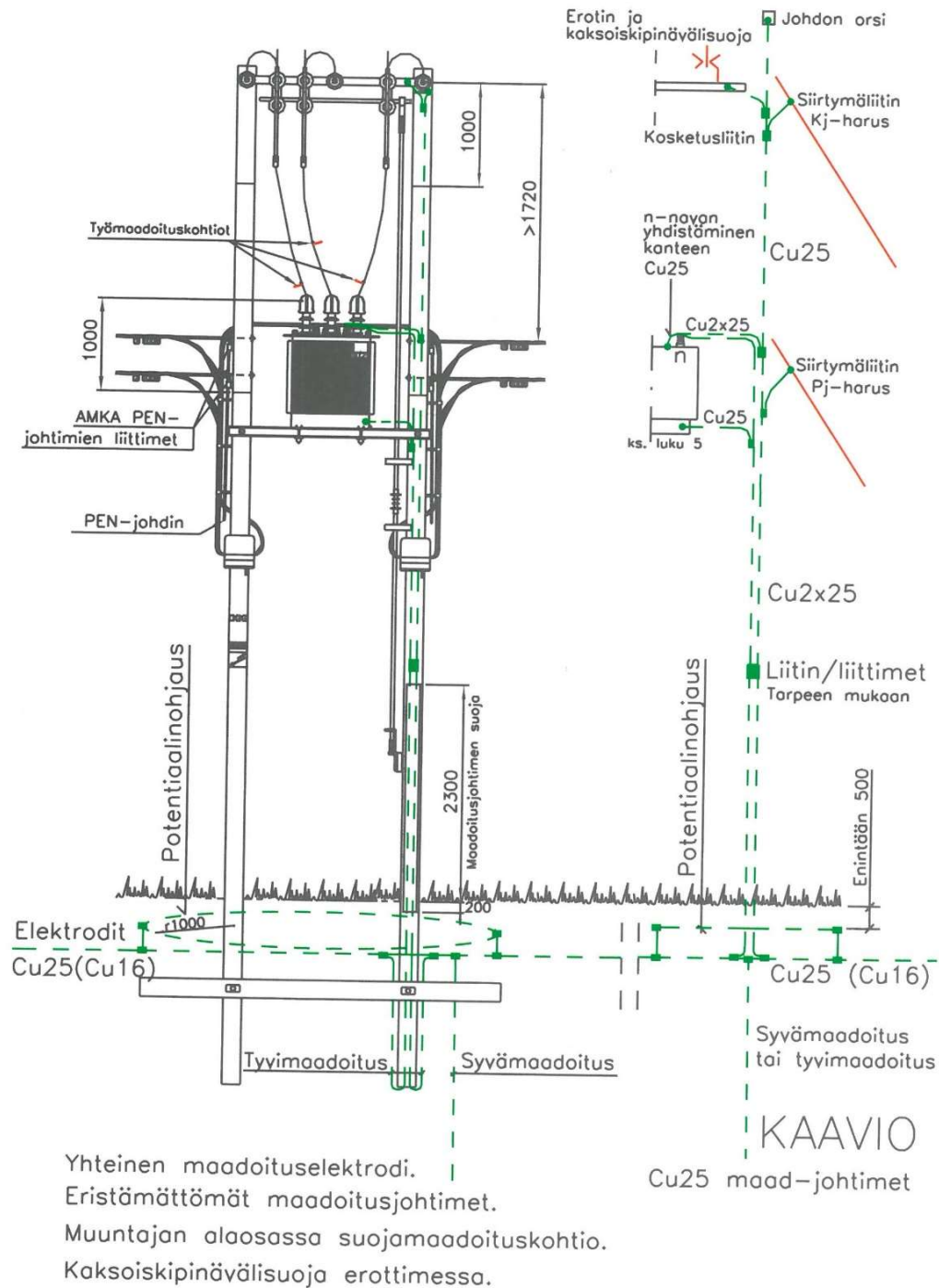
Kuvio 4. Kaapeliverkon muuntamon maadoitusjohtimet. (Tiainen ym. 2014, 63)

Muuntopiirin suurin sallittu maadoitusresistanssin arvo riippuu suurimmasta sallitusta kosketusjännitteestä ja keskijänniteverkon maasulkuvirrasta. Maadoitusjännite voi olla yleensä 2-4 kertainen suurimpaan sallittuun kosketusjännitteeseen nähden. (Tiainen ym. 2014, 128.)

Muuntamoille käytetään yleensä vaakaelektrodeja, jotka upotetaan maahan, alle metrin syvyyteen. Näin ollen ne ovat alttiita roudan aiheuttamille muutoksille maaperässä. Tästä johtuen maadoitusresistanssit ovat talvisin huonompia kuin kesän aikaan. Tämän vuoksi elektrodien rakenne ja upotussyvyys on valittava huolella. Tärkeää on ottaa huomioon, ettei esimerkiksi maan jäätyminen tai kuivuminen kasvata maadoitusresistanssia vaadittua arvoa suuremmaksi. Muuntamon maadoituselektrodi tulisi kaivaa maahan routarajan alapuolelle, mutta ilman erityistä syytä sitä ei tarvitse upottaa yli 0,7 metriin. Muuntamoiden

maadoituksissa voidaan käyttää myös pystyelektrodeja, jotka ovat yleensä maahan upotettavia, vähintään 1,5 mm:n halkaisijalla olevia kuparilla päällystettyjä terästankoja. Pystyelektrodien maadoitusresistanssi on vaakaelektrodia vakaampi, koska ne eivät ole niin paljoa roudalle alttiita. Koko maadoitusjärjestelmä voidaan rakentaa rengasmaiseksi, jolloin sen eheys voidaan todeta mittaamalla. Muuntamoiden rakennusvaiheessa niiden maadoituksiin lisätään usein myös potentiaalinohjauselektrodi. Tämä asennetaan metrin päähän kaapeliverkon muuntamon seinistä ja noin 30 cm:n syvyyteen. Kuvioissa 4 ja 6 on esitetty kaapeliverkon muuntamon maadoitusjohtimet sekä potentiaalinohjauselektrodi. (Tiainen ym. 2014, 128-131.)

Pylväsmuuntamoilla muuntajan n-navasta tuodaan kaksi 25 mm²:n kuparia suoraan maahan, jotka toimivat järjestelmämaadoituksena. Niistä toinen yhdistetään maassa suojamaadoitusjohtimeen ja toinen asennetaan tyvimaadoituselektrodiksi, ja se myös kytketään maadoituselektrodiin kuten kuviossa 5 on havainnollistettu. Jos muuntamon pylväs pystytetään kalliolle, ei potentiaalinohjausta rakenneta. Tässä tapauksessa muuntamon maadoituselektrodi rakennetaan erilliselle pylväälle, kuitenkin mahdollisimman lähelle muuntamoa ylijännitesuojauksen takia. (Tiainen ym. 2014, 68.)



Kuvio 5. Pylväsmuuntamon maadoitukset. (Tiainen ym. 2014, 67)

Potentiaalinohjauselektrodi ei ole välttämätön, mikäli maadoitusimpedanssi täyttää kaavan (1) ehdon:

$$U_E \leq 2 * U_{TP} , \quad (1)$$

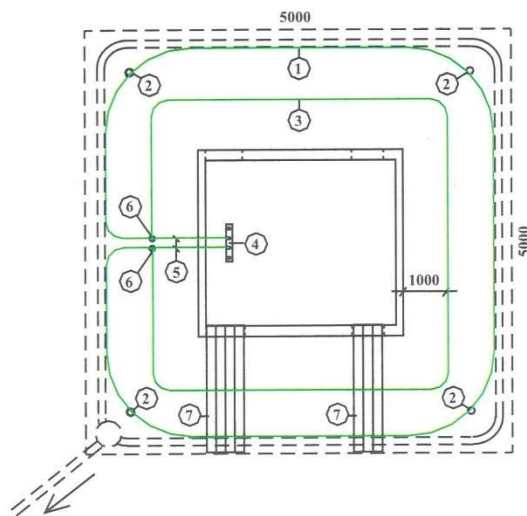
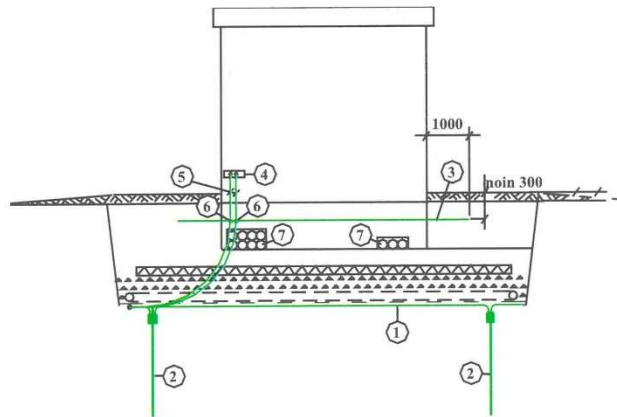
missä

U_E on maadoitusjännite

U_{TP} on sallittu kosketusjännite.

Jos aiemmasta ei ole varmaa tietoa rakennusvaiheessa, on yleensä syytä rakentaa potentiaalinohjaus. (Tiainen ym. 2014, 128-131.)

1. Maadoituselektrodi Cu 25
2. Pystymaadoitus
3. Potentiaalinohjauselektrodi Cu 25
4. Muuntamon maadoituskisko
5. Maadoitusjohtimet Cu 25
6. Potentiaalinohjauksen liitos
7. Kaapeliputkitus



Kuvio 6. Puistomuuntamon maadoitus. (Tiainen ym. 2014, 66)

4.4 Sähköasemien maadoitusjärjestelmät

Sähköasemien maadoituksissa käytetään yleensä verkkomaista maadoitusruudukkoa. Maadoitusruudukkoon yhdistetään mm. laitteiden maadoitusjohtimet ja asemalta lähtevien johtojen ukkosjohtimet. (Elovaara & Haarla 2011, 446.)

Sähköasemat rakennetaan yleensä huonosti johtavalle, kovalle maaperälle. Tämän takia monesti joudutaan käyttämään maadoituksen parantamiseksi vaakamaadoituselektrodeja, jotka rakennetaan asemalta poispäin, paremmin johtavalle alueille, yleensä johtoaukeiden reunoille ja ne yhdistetään usein pylväsmaadoituksiin. Vaakamaadoituselektrodien maksimipituus joudutaan rajoittamaan yleensä muutamaa kilometriä johtimien oman impedanssin kasvaessa liian suureksi pitemmillä matkoilla. Hyvin ja oikein toteutettu maadoitusruudukko sähköasemilla ja siihen liitetyt muut maadoituselektrodit saavat aikaan sen, etteivät askel- ja kosketusjännitteet pääse kasvamaan alueella liian suuriksi vikojen aiheutuessa. (Elovaara & Haarla 2011, 446.)

Sähköasema-alueen aidan ulkopuolella noin yhden metrin päässä sijaitsevalla ruudukon uloimmalla johdinelektrodilla on suuri merkitys aseman maadoituksessa. Lisäksi tulee ottaa huomioon asemalta ulos lähtevien maadoituselektrodien potentiaalin leviäminen ympäristöön ja siitä mahdollisesti koituvat ongelmat. Vaikka asemilla potentiaalit ovat yleensä monin kerroin pienempiä kuin pylväiden potentiaalit, niiden vaikutusalue on kuitenkin yleensä monin kerroin suurempi, ja tästä johtuen sähköaseman ympäristön potentiaali voi olla useita kymmeniä prosentteja aseman maadoitusjännitteestä vielä muutamankin kilometrin päässä asemalta. (Elovaara & Haarla 2011, 446.)

Sähköasemien maadoituksissa noudatetaan SFS-6001 kuvattuja suurjännitesähköasennuksia koskevia ohjeistuksia ja vaatimuksia sellaisenaan. Maadoituksien suunnittelussa ja rakentamisessa perusteet ovat samat kuin sähköjohtojen kanssa, mutta kosketusjännitesuojauksen toteutus on huomattavasti monimutkaisempaa kuin suurjännitejohdoilla. (Elovaara & Haarla 2011, 449.)

SFS 6001 velvoittaa ja ohjeistaa mm. sen, että sähköasemia ympäröivät paljaat metalliset aidat on maadoitettava useassa pisteessä joko suurjänniteverkon maadoitusjärjestelmään tai erillisiin maadoituselektrodeihin. Myös aidan portit ja muut johtavaa materiaalia olevat osat on yhdistettävä maadoitukseen. Aseman alueen sisäpuolella olevat metalliputkistot on myös yhdistettävä sähköaseman maadoitusjärjestelmään. Sähköasemalle ulkoa tulevien putkien materiaalina olisi

vältettävä metallia ja käytettävä niiden sijaan eristävästä materiaalista tehtyjä putkia ja eristäviä väliosia. Jos sähköaseman poikki kulkee sähköistämättömiä rautatien kiskoja, on nekin yhdistettävä sähköaseman maadoitusjärjestelmään. (SFS 6001:2018, 116.)

5 MAADOITUSTEN MITTAUKSET JA DOKUMENTOINTI

5.1 Mittausmenetelmät

Maaperän resistiivisyys mitataan maadoitusimpedanssin tai maadoitusresistanssin alustavaa määrittelyä varten neljän piikin menetelmällä, kuten esimerkiksi Wenner-menetelmällä. Tämä kertoo maaperän resistiivisyydestä sen eri syvyyksillä. (SFS 6001 2018, 127.)

Maadoitusresistanssit ja -impedanssit voidaan mitata eri tavoilla. Mittaukseen parhaiten soveltuva tapa määrittyy maadoitusjärjestelmän laajuuden ja häiriötason mukaan.

5.1.1 Käännepestemenetelmä

Käännepestemenetelmällä mitataan yleensä yksittäisiä maadoituselektrodeja ja pieniä tai keskikokoisia maadoitusjärjestelmiä. Esimerkkejä mittauskohteista ovat mm. sauva- ja vaakaelektrodit, ilmajohtopylväiden elektrodit sekä keskijänniteverkon maadoitusjärjestelmät ja erilliset pienjänniteverkkojen maadoitusjärjestelmät. (SFS 6001 2018, 127.)

Käännepestemenetelmällä mitattaessa saadaan suoraan resistanssiarvoja. Tuloksista syntyvillä arvoilla muodostetaan käyrä, jonka käännepestestä saadaan mitattavan elektrodin tai elektrodijärjestelmän maadoitusresistanssi. Mittaus tapahtuu maadoitusresistanssin mittauslaitteella, joka toimii kompensatioperiaatteella (siltamittaus). Mittauksessa mittalaite syöttää vaihtojännitettä, jonka suuruus vaihtelee laitteen mallista ja valmistajasta riippuen 100-500 V:n välillä. Jännitteen taajuus vaihtelee 70-140 Hz. Yli 150 Hz:n taajuutta ei suositella käytettäväksi. (ST 53.22 2016, 2.)

5.1.2 Voltti-ampeerimenetelmä

Voltti-ampeerimenetelmällä mitataan erityisesti suurten maadoitusjärjestelmien maadoitusimpedansseja. Voltti-ampeerimenetelmällä mitataan maadoituselektrodin yli vaikuttava jännite ja sen kautta kulkeva mittaussvirta I_m . Menetelmä pyrkii jäljittelemään todellista maasulkutilannetta. Tämä tapahtuu, kun virransyöttömuuntaja johtaa mittaussvirtaa maadoitukseen pitkän matkan päästä, esimerkiksi avojohtoa myöten. Tällöin virta kulkee kauempana olevan vastamaadoituselektrodin ja mitattavan elektrodin kautta ja jännite mitataan apuelektrodin ja maadoituksen väliltä. Koska virtaa ei kulje ollenkaan jänniteapuelektrodin kautta, ja se on kummankin muun maadoituselektrodin kentän ulkopuolella, on mitattu jännite suoraan maadoitusjännite U_m . Mittauksessa käytettävät ja tarvittavat apuelektrodit ovat kaukana toisistaan ja mitattavasta maadoituselektrodista. Apuelektrodit asetetaan siis eri puolille mitattavaa maadoitusta. Mittauksessa täytyy noudattaa sille asetettuja erityisiä vaatimuksia, koska virransyöttömuuntajalla voidaan syöttää suuria jännitteitä mittausspiiriin. (ST 53.22 2016, 3; SFS 6001 2018, 127-128.)

Maadoitusresistanssi saadaan tulosten perusteella kaavalla 2:

$$R = \frac{U_m}{I_m} \quad (2)$$

missä

R on maadoitusresistanssi

U_m on maadoitusjännite

I_m on mittaussvirta.

Maadoitusimpedanssin itseisarvo saadaan seuraavan kaavalla 3:

$$Z_E = \frac{U_m}{I_m \cdot r} \quad (3)$$

missä

Z_E on maadoitusimpedanssin itseisarvo

r on johdon reduktiokerroin referenssimaahan nähden

U_m on maadoitusjännite

I_m on mittausvirta.

(ST 53.22 2016, 3; SFS 6001 2018, 127-128.)

5.2 Vastaanottotarkastukset ja dokumentointi

Maadoitusjärjestelmästä tulee ennen asennusten vastaanottoa laatia raportti, josta on käytävä ilmi, että kaikki sitä koskevat standardit täyttyvät. Maadoitusjärjestelmästä tulee olla käytettävissä ja saatavilla asemapiirros, josta käy selväksi maadoituselektrodien sijainti, materiaali, elektrodien haaroituspisteet sekä asennussyvyys. (SFS 6001 2018, 132.)

Laajan maadoitusjärjestelmän piiriin kuuluvien maadoitusjärjestelmien maadoitusresistansseja tai maadoitusjännitteitä ei tarvitse mitata, jos laajan maadoitusjärjestelmän ehdot täyttyvät ja perussuunnitelma on riittävä. Kuitenkin yksittäiset maadoitukset on mittaamalla todettava, että yhteys laajaan maadoitusjärjestelmään on olemassa ja kunnossa. (SFS 6001 2018, 132.)

Laajaan maadoitusjärjestelmään kuulumattomista asennuksista on mitattava tai laskettava järjestelmällisesti maadoitusresistanssit ja maadoitusjännitteet. Lisäksi kosketusjännitteet on tarvittaessa myöskin mitattava tai laskettava. Jos sallittujen kosketusjännitteiden raja-arvot eivät täyty, tarvitaan erityisiä toimenpiteitä, jotka on lisättävä ja käytävä ilmi asemapiirroksessa ja dokumenteissa. (SFS 6001 2018, 132.)

5.3 Tarkastukset, testaukset ja mittaukset

Yleensä sähköasemien maadoitusresistanssien arvot täytyy varmistaa ennen käyttöönottoa, ja arvojen pysyvyys varmistettava mittauksilla tai muilla sopivilla tavoilla. Maadoitusjärjestelmien määräajoin tehtävät mittaustarpeet ja tarkastustarpeet määritellään ottaen huomioon mm. kokemuseräiset tiedot korroosion esiintymisestä, maaperästä, laitteiston kunnossapito-ohjelmasta tulevista vaatimuksista ja siitä, onko maadoitusjärjestelmän rakenne muuttunut

esimerkiksi lähellä tehtyjen rakennustöiden takia. Myöskin perusvaatimuksiin vaikuttavien muutoksien jälkeen voi olla tarpeen mitata tai laskea kosketusjännitteitä ja maadoitusresistansseja. (SFS 6001 2018, 144.)

Maadoitusresistanssit voidaan varmistaa seuraavilla keinoilla:

- **Maadoitusjärjestelmä, joka ei ole galvaanisesti yhteydessä muihin suurjännitejakelujärjestelmiin**

Esimerkiksi keskijännitteellä toimivan sähköaseman tai ilmajohtoverkkoon liittyvän jakelumuuntamon maadoitusjärjestelmä, joka ei ole yhteydessä muun suurjännitejärjestelmän maadoituksiin, mutta jonka maadoitusresistansseille on annettu vaadittu arvo, täytyy mitata. Tämä pätee myöskin kohteisiin, joissa korkeintaan kahden suurjännitejärjestelmän maadoitukset on liitetty toisiinsa. (SFS 6001 2018, 145.)

Yksittäiseen maadoitukseen yhdistetyille maadoitusjärjestelmille täytyy asetettujen vaatimusten toteutuminen varmistaa mittaamalla maadoitusresistanssi määrävälein. Suosituksina ja ohjearvoina mittausten aikaväleiksi ovat:

- 12 vuotta, jos maadoitus tapahtuu useamman kuin yhden maadoitusjohtimen kautta
- 6 vuotta, jos maadoitus on yhden maadoitusjohtimen varassa. (SFS 6001 2018, 145.)

Jos vaadittua arvoa ei ole, esimerkiksi yksittäiselle erottimen potentiaalinohjausrenkaalle, silloin riittää maadoituksen eheyden tarkastus silmämääräisesti ja/tai mittauksella. (SFS 6001 2018, 145.)

- **Maadoitusjärjestelmä, joka on galvaanisesti yhteydessä muihin suurjännitejärjestelmiin**

Kun jakelumuuntamon tai vastaavan maadoitusjärjestelmä on oikeaoppisesti ja luotettavasti yhdistetty vähintään kahteen muuhun suurjännitemaadoitusjärjestelmään esimerkiksi keskusköysien, PEN-

johtimien, kaapelivaippojen tai mahdollisten pienjänniteverkon suoja johtimien kautta, voidaan tällaisia maadoitusjärjestelmiä käsitellä yhtenä maadoitusjärjestelmänä. Tällaisen järjestelmän piirteet täyttää esimerkiksi vähintään kolme ketjussa olevaa maadoitusjärjestelmää, kuten jakelumuuntamo. Riippuen asennuksista, tällaisen yhteen liitetyn maadoitusjärjestelmän maadoitusresistanssin toteamiseen voidaan käyttää muutamia eri tapoja:

- Maadoitusjärjestelmän maadoitusresistanssi voidaan todeta mittaamalla. Mittaamalla saadaan todettua yhden erikseen mitatun maadoitusjärjestelmän, kuten esimerkiksi yhden tai useamman yhteen liitetyn jakelumuuntamon maadoitusresistanssin täyttävän vaatimukset. On kuitenkin huomioitava, että laajojen yhteen liitettyjen maadoitusten resistanssien mittaus normaaleilla tavoin, esimerkiksi käännepistemenetelmällä on käytännössä hankalaa ja mittaustulos ei ole luotettava.
- Kun yhdistetään maadoitus vanhaan, aiemmin rakennettuun maadoitukseen, voidaan käyttää mitoituksessa jo tiedossa olevaa hyvää maadoitusresistanssin arvoa.
- Maadoitus voidaan varmistaa muulla tavoin, esimerkiksi mittaamalla kosketusjännitteen suuruus ja näin varmistaa maadoituksen turvallisuus.
- Jos yhteen kytketyissä maadoitusjärjestelmissä maadoitusten mittaus ei ole kohtuullisilla järjestelyillä mahdollista, ja tiedetään maadoitusjärjestelmän sijainnin maaperän sähköiset resistiivisyyden arvot, voidaan maadoitusresistanssi laskea käyttäen maadoituselektrodien rakennetietoja. Maadoitusten toteutuminen suunnitellusti on esimerkiksi valokuvattava ja dokumentoitava.

(SFS 6001 2018, 145.)

Kaikkien laskelmien ja mittausten tulokset on dokumentoitava. Jos jollakin edellä kerrotuista tavoilla saadaan vaatimukset täyttävä

maadoitusresistanssin arvo, pystytään siihen yhdistää muita maadoitusjärjestelmiä, varmistamalla niiden yhdistäminen mitattuun järjestelmään. Maadoitusjärjestelmien yhteys ja eheys toisiinsa tulee varmistaa käyttöönottovaiheessa ja laitteiston kunnossapidon tarkastusten yhteydessä. Maadoitusresistansseja ei tarvitse mitata, jos ei verkon rakenteessa tai lähtöarvoissa ole tapahtunut oleellisia muutoksia. Kaikki tiedot myös tarkastuksista on dokumentoitava. (SFS 6001 2018, 145.)

- **Laaja maadoitusjärjestelmä**

Kun olemassa olevaan laajaan maadoitusjärjestelmään liitetään uusia paikallisia maadoitusjärjestelmiä, esimerkiksi uusia jakelumuuntamoita, ei laajan maadoitusjärjestelmän ehtojen täyttymistä tarvitse kokonaisuutena tutkia. Kuitenkin on varmistettava mittaamalla uusien järjestelmän osien liittyminen laajaan maadoitusjärjestelmään. Mittausten tulokset on dokumentoitava. Maadoitusjärjestelmien yhteys ja eheys toisiinsa nähden on varmistettava laitteiston kunnossapidon tarkastuksissa. Nämäkin tiedot on dokumentoitava. (SFS 6001 2018, 145.)

- **Suurjännitesähköaseman maadoitusjärjestelmä**

Maadoitusresistanssi on mitattava suurjännitesähköasemilta, joihin liittyy impedanssin kautta maadoitettu vähintään 110 kV suurjänniteverkko. Tämä vaatimus ei kuitenkaan koske laajan maadoitusjärjestelmään liittyviä asemia. Suurjännitesähköasemien maadoitusresistanssit suositellaan mitattavaksi 12 vuoden välein. Näin pysytään ajan tasalla suurjännitesähköasemien maadoituksille annettujen vaatimusten toteutumisesta. Useisiin maadoitusjärjestelmiin, joilla on galvaaninen yhteys muihin suurjännitejärjestelmiin sekä laajan maadoitusjärjestelmän osalta voidaan määrääjoin tehtävä mittausta korvata maadoitusyhteyksien tarkastuksella kunnossapidon yhteydessä. (SFS 6001 2018, 146.)

Kaikille suurjänniteasennuksille ja asennusten laajennuksille ja muutoksille täytyy tehdä ennen käyttöönottoa sähköturvallisuuslain mukainen käyttöönottotarkastus, ja sen perusteella laatia tarkastuspöytäkirja. Tarkastus tehdään ennen käyttöönottoa. Poikkeuksena, jos esimerkiksi jakelumuuntamon tai vastaavan maadoitusresistanssin mittaaminen jäätyneen maan takia ei ole mahdollista, voidaan asennus ottaa silti käyttöön, jos maadoitukset on toteutettu maaperän ominaisuudet huomioon ottaen ja suunnitelmien mukaisesti. Mittaukset täytyy tehdä kuitenkin mahdollisimman pian sulan maan aikaan, kuitenkin vähintään vuoden kuluessa asennuksen käyttöönotosta. (SFS 6001 2018, 146.)

Tarkastuksia voidaan tehdä tarvittaessa myös asennuksien aikana, esimerkiksi maakaapeloinnin asennus- ja suojaustavat sekä asennussyvytykset voidaan tarkastaa työskentelyn aikana. Myös maadoituselektrodin kunto voidaan tarkastaa ennen sen peittämistä. (SFS 6001 2018, 146.)

Tuotestandardien alaisten laitteiden, esimerkiksi kojeistojen tarkastaminen asennuspaikalla toteutetaan laitteiden merkintöjen ja dokumenttien mukaisesti. Paikan päällä on myös suoritettava laitteille laitestandardeissa ja hankinta-asiakirjoissa määritellyt testit ja tarkastukset. Suurjänniteasennuksille on sähköturvallisuuslain mukaisesti laadittava kunnossapito-ohjelma, jolla varmistetaan asennuksen turvallisuuden täyttyminen myös jatkossa. (SFS 6001 2018, 146.)

6 OHJEISTUKSET JA SELVITYKSET TOIMEKSIANTAJALLE

6.1 Ohjeistus muuntamomaadoituksille rakentamisen yhteydessä

Kootut ohjeet ja säännökset muuntamoiden maadoituksista rakentamisen yhteydessä toimeksiantajalle voimassaolevien SFS-standardien ja uusimpien suositusten mukaan. Pylväsmuuntamon ohjeistus löytyy liitteestä 1 ja puistomuuntamon ohjeistus liitteestä 2.

6.2 Ohjeistus maadoituksista sähköjakeluverkkoon liittyjälle

Toimeksiantajalle koottu ohjeistus maadoituksista sähköjakeluverkkoon liittyjälle löytyy liitteestä 3.

6.3 Maadoitukset työmaakeskusten, tilapäisten keskusten ja tonttikeskusten yhteydessä

Selvitys toimeksiantajalle maadoituksista erilaisten sähkökeskusten yhteydessä voimassaolevien SFS-standardien ja uusimpien suositusten mukaan löytyy liitteestä 4.

6.4 Jakokaappien maadoittaminen ja maadoitusvaatimukset

Selvitys toimeksiantajalle uusien, vanhojen olemassa olevien jakokaappien sekä uusien, rakennettavien jakokaappien maadoituksista ja niiden vaatimuksista voimassaolevien SFS-standardien ja nykyisten suositusten mukaan löytyy liitteestä 5.

7 POHDINTA

Maadoitusjärjestelmän nykytilan kuvaus ja kehittäminen oli opinnäytetyön toimeksiantajalle ajankohtainen ja tarpeellinen aihe, sillä mm. SFS 6001 -standardi on uudistunut vuoden 2018 aikana. Tämä opinnäytetyö auttaa toimeksiantajaa saamaan yhtenäisemmän kuvan jakeluverkkoalueensa maadoitusjärjestelmästä ja sen tilasta.

Tietämystä maadoitusjärjestelmän kuvauksesta ja kehittämisestä minulla ei ollut projektin alkaessa koulussa opitun perustiedon lisäksi paljoakaan. Tämän vuoksi opinnäytetyön alkaessa paneuduin tekemään perusteellista alkuselvitystyötä maadoitusjärjestelmistä, niiden rakenteista, ohjeistuksista ja säädöksistä. Opinnäytetyön alussa yhtenä tavoitteena oli maadoitusten nykytilan kuvaaminen Neven verkkotietojärjestelmään, mutta tämän projektin ajankohta siirtyi myöhemmälle kevääseen, jonka vuoksi se päätettiin yhdessä toimeksiantajan kanssa jättää opinnäytetyöstäni pois ja jatkan aiheen parissa keväällä. Opinnäytetyön aikana minulle tuli runsaasti uutta tietoa maadoitusjärjestelmistä, jota tulen hyödyntämään kevään projektin parissa sekä tulevaisuudessa työskennellessäni sähköalalla.

Neve sai opinnäytetyöstäni kootut ja selkeät, nykysäännösten mukaiset ohjeistukset maadoituksilleen, joita Neve voi jatkossa käyttää sähköverkon rakentamis- ja kunnossapitotoissaan. Opinnäytetyössä saavutettiin tavoitteet, jotka suunniteltiin yhdessä toimeksiantajan kanssa ennen työn alkamista. Työ valmistui aikataulussa.

LÄHTEET

Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa. 2011. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto

Napapiirin Energia ja Vesi Oy 2019. Tietoa meistä. Viitattu 19.11.2019.
<https://www.neve.fi/tietoa-meista/>

SFS 6001 2018. Suurjännitesähköasennukset. 5. painos. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS

ST 53.21. 2018. Rakennusten sähköasennusten maadoitukset ja potentiaalintasaukset. Espoo: Sähkötieto Ry

ST 53.22. 2016. Maadoitusresistanssin mittaus. Espoo: Sähkötieto Ry

Tiainen, E., Nurmi, T. & Koivisto, P. 2014. Maadoituskirja. 6. painos. Helsinki: Sähköinfo Oy

Ylinen, T. 2016. Maadoitusopas. 3. painos. Espoo: STUL

LIITTEET

- Liite 1. Ohjeistus pylväsmuuntamon maadoituksille rakentamisen yhteydessä (luottamuksellinen)
- Liite 2. Ohjeistus puistomuuntamon maadoituksille rakentamisen yhteydessä (luottamuksellinen)
- Liite 3. Ohjeistus maadoituksista sähköjakeluverkkoon liittyjälle (luottamuksellinen)
- Liite 4. Maadoitukset työmaakeskusten, tonttikeskusten ja väliaikaisten keskusten yhteydessä (luottamuksellinen)
- Liite 5. Jakokaappien maadoittaminen ja maadoitusvaatimukset (luottamuksellinen)